



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 197 27 795 C 1

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 05 B 13/04**  
// G06F 15/18

②① Aktenzeichen: 197 27 795.0-51  
②② Anmeldetag: 30. 6. 97  
④③ Offenlegungstag: -  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 17. 12. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

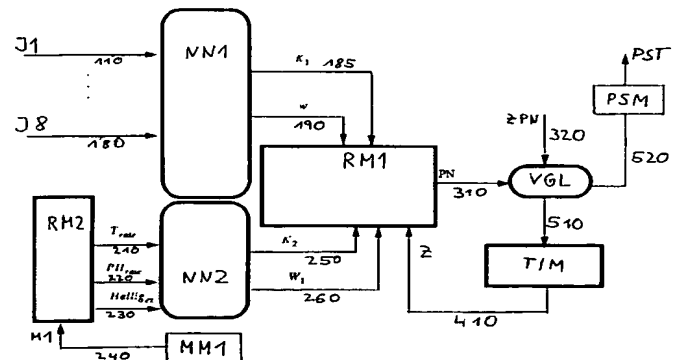
⑦② Erfinder:  
Obradovic, Dragan, Dr.-Phil., 81669 München, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 1 95 10 008 C2  
US 54 86 996 A  
EP 06 09 999 A1

⑤④ Verfahren und Anordnung zur neuronalen Modellierung einer Prozeßgröße und Steuerung des Prozesses mit dieser Größe

⑤⑦ Mit der Erfindung wird ein Verfahren und eine Anordnung zur Modellierung einer schwer bestimmbarer Prozeßgröße für einen technischen oder chemischen Prozeß angegeben und ein Verfahren und eine Anordnung zur Steuerung eines Prozesses mit dieser Größe beschrieben. Zur Beschreibung der Prozeßgröße wird eine Differentialgleichung von bekannter Form gefunden, deren Parameter jedoch von weiteren Prozeßgrößen nichtlinear abhängig sind. Diese nichtlineare Abhängigkeit wird mit jeweils einem neuronalen Netz modelliert, um die Konstanten der Differentialgleichung zu bestimmen. Es können statische und dynamische Parameter des Prozesses separiert werden, mit denen die neuronalen Netze trainiert werden. Für einen Zellstoffkochprozeß kann beispielsweise die Permanganatzahl bestimmt werden, welche nicht direkt meßbar ist, sich aber entscheidend auf die Qualität des hergestellten Zellstoffes auswirkt. Durch die Modellierung der Permanganatzahl nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in Abhängigkeit der Zeit, kann das Prozeßende genau festgelegt werden. Fallweise können Meßwertverarbeitungsmittel vorgesehen sein, die am realen Prozeß dynamisch veränderliche Größen bewerten und einem zweiten neuronalen Netz zuführen, das eine Feinabstimmung der Modellierung durchführt.



DE 197 27 795 C 1

DE 197 27 795 C 1

Die Erfindung bezieht sich auf die Modellierung einer schwer zu bestimmenden Prozeßgröße eines technischen oder chemischen Prozesses.

Bei technischen oder chemischen Prozessen tritt häufig das Problem auf, daß für den Prozeßablauf relevante Entscheidungsgrößen schwer bestimmbar, bzw. nicht meßbar sind. Diese Prozeßgrößen können beispielsweise Indikatoren darstellen, anhand denen der Prozeß weitergeführt werden muß, bzw. anhand denen das Prozeßende bestimmt werden kann.

Ein Beispiel eines solchen technischen bzw. chemischen Prozesses ist die Zellstoffkochung. Bei der Zellstoffkochung ist die Permanganatzahl ein wichtiger Prozeßindikator. Durch sie wird hauptsächlich die Qualität des produzierten Zellstoffes bestimmt. Aus diesem Grund hängt die Regelung des Kochprozesses und dabei insbesondere die Prozeßdauer, die Temperatur und das Druckprofil von der aktuellen Permanganatzahl ab. Dieser wichtige Indikator ist jedoch während des Prozesses der Zellstoffkochung nicht meßbar. Folglich muß die Regelung des Prozesses auf einer Schätzung der Permanganatzahl basieren, die durch die Messung anderer, verfügbarer Prozeßgrößen und durch die Nutzung von Vorwissen über den Prozeß erreicht wird.

Im Stand der Technik existieren verschiedene Permanganatzahlmodelle. Die meisten davon basieren auf der Korrelationsanalyse und sind statisch, während die existierenden dynamischen Modelle gewöhnlicherweise nur in bestimmten Intervallen des Kochprozesses gültig sind. Ein Beispiel ist in: K. Fischer und I. Schmidt "Kinetics of cellulose and lignin degradation during the acid bisulfite process and the possibilities for cooking control", Tappi Journal, Vol. 74, No. 1, January 1991, pp. 181-185, angegeben. Derzeit existieren keine praktikablen Lösungen die auf Basis von Differentialgleichungen die Permanganatzahl bestimmen.

Aus US 5 486 996 A ist ein neuronaler Regler bekannt, bei dem vorgegebene Referenzwerte mit gemessenen Werten eines technischen Systems einem neuronalen Netz zugeführt werden. Ferner werden dem neuronalen Netz Prozeßparameter zugeführt. Die Ausgangsgröße  $u$  des neuronalen Netzes ist eine Eingangsgröße des Systems. Mit der Ausgangsgröße  $u$  wird das System gesteuert. Das System ist durch ein Differentialgleichungssystem beschreibbar, wobei die Ausgangsgröße  $u$  des neuronalen Netzes einen Parameter innerhalb des Differentialgleichungssystems darstellt.

Aus EP 0 609 999 A1 ist bekannt, für mehrere Prozeßgrößen mehrere neuronale Netze zu deren Modellierung einzusetzen.

Aus DE 195 10 008 C2 ist ein Verfahren zur Prozeßführung bei der Zellstoff- und/oder Papierherstellung unter Verwendung mindestens einer Meßeinrichtung zur Erfassung physikalischer Kennwerte und wenigstens einer Regeleinrichtung bekannt. Bei dem Verfahren und der Vorrichtung werden mit der Meßeinrichtung spektrale Kennwerte bei unterschiedlichen Wellenlängen mindestens der Ausgangsstoffe bei der Zellstoff- und/oder Papierherstellung erfaßt und die Ausgangsstoffe (entweder der Rohstoff "Holz" in Form Holzhackschnitzeln oder in Form von aus Baumstämmen erzeugten Holzschliffteilchen, oder der Sekundärrohstoff "Altpapier") kontinuierlich an der Meßeinrichtung zur Erfassung der spektralen Kennwerte vorbeigeführt werden.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe besteht darin, ein Verfahren und eine Anordnung zur Modellierung einer Prozeßgröße anzugeben, die schwer zu bestimmen ist und für deren Zeitabhängigkeit lediglich die Form der Differentialgleichung bekannt ist, deren Parameter jedoch wieder von weiteren Prozeßgrößen nicht linear abhängig sind.

Die Aufgabe wird für das Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 1 und für die Anordnung gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 7 gelöst.

Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde ein Verfahren und eine Anordnung zur Steuerung eines Prozesses mit dieser modellierten Prozeßgröße anzugeben.

Diese Aufgabe wird für das Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 6 und für die Anordnung gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 9 gelöst.

Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Besonders vorteilhaft wird durch die Erfindung ein unbekannter Parameter von der Lösung der Differentialgleichung, deren Form bekannt ist und der von weiteren Prozeßgrößen nicht linear abhängig ist, durch mindestens ein neuronales Netz modelliert. Dazu wurde dieses neuronale Netz mit Hilfe von bekannten Prozeßdaten trainiert. Die Erfindung stellt somit eine Kombination eines analytischen und eines Modellansatzes dar.

Besonders vorteilhaft werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren statische und dynamische Prozeßgrößen unterschieden und jeweils verschiedenen neuronalen Netzen zugeordnet. Damit lassen sich die Anfangsbedingungen der Lösungsgleichung und die dynamischen Komponenten separat modellieren.

Besonders vorteilhaft werden die zeitlich variablen Prozeßgrößen, welche die zu modellierende Prozeßgröße stark beeinflussen, gemessen und bezüglich zeitlichen Veränderung bewertet. Dies führt dazu, daß Größen die sich nicht so stark ändern dem neuronalen Netz, dem sie zugeführt werden, nicht eine so hohe Rechenleistung abfordern.

Besonders vorteilhaft wird die Permanganatzahl eines Zellstoffkochprozesses modelliert, da mit dem erfindungsgemäßen Verfahren über die Vorhersage der Prozeßdauer, Zellstoff mit hoher Qualität hergestellt werden kann.

Besonders vorteilhaft werden als dynamische Größen bei der Zellstoffkochung der PH-Wert, die Temperatur bzw. die Helligkeit des Zellstoffs verwendet und bezüglich ihrer zeitlichen Veränderung bewertet, da diese Größen den dynamischen Prozeßverlauf in starkem Maße beeinflussen.

Besonders vorteilhaft wird ein Zellstoffkochprozeß über eine erfindungsgemäß modellierte Permanganatzahl gesteuert, welche sukzessive mit einer gewünschten Permanganatzahl verglichen wird, indem in das Modell eine Probe-prozeßdauer eingegeben wird, worauf das Modell für diese Prozeßdauer die entsprechende Permanganatzahl ausgibt. Durch einen Vergleich dieser Permanganatzahl mit der gewünschten Permanganatzahl, kann die Zeitdauer des Prozesses entsprechend erhöht oder erniedrigt werden und auf diese Weise die Prozeßdauer, die zur gewünschten Permanganatzahl führt, sehr genau bestimmt werden. Besonders vorteilhaft wird durch die erfindungsgemäße Bewertung der dynamischen Kenngrößen die Aussage der Prozeßdauer gegen Prozeßende immer genauer, da die Dynamikcharakteristik der dynamischen Kenngrößen des Prozesses über eine längere Prozeßdauer gemessen wurde und somit die Aussage des neuronalen Netzes, welches die Dynamik des Prozesses modelliert, immer genauer wird.

Besonders vorteilhaft ist eine Anordnung zur Modellierung der Permanganatzahl eines Zellstoffkochprozesses, bei der zwei separate neuronale Netze zur Nachbildung der Lösungsgleichungsparameter für die Anfangsbedingungen bzw. für die dynamischen Bedingungen des Zellstoffkochprozesses vorgesehen sind. Diese werden vorteilhaft durch eine Recheneinheit ergänzt, der diese von den neuronalen Netzen bestimmten Lösungsgleichungsparameter zugeführt werden und welches daraus in Abhängigkeit einer vorgegebenen Prozeßzeit und der Lösungsgleichung eine zustandekomende Permanganatzahl berechnet. Auf diese Weise läßt sich die Erfindung mit möglichst geringem Aufwand realisieren. 5

Vorteilhaft ist eine zusätzliche Recheneinheit vorgesehen, welche die dynamischen Meßgrößen des Prozesses bezüglich ihrer Zeitabhängigkeit aufbereitet und dem zweiten neuronalen Netz lediglich die Zeitcharakteristika dieser Kenngrößen zuführt, weil dadurch eine On-line-Adaption des zweiten neuronalen Netzes gewährleistet ist.

Besonders vorteilhaft ist eine Anordnung zur Steuerung des Prozesses der Zellstoffkochung, die sich die Anordnung zur Modellierung der Permanganatzahl bei der Zellstoffkochung zunutze macht und diese durch einen Vergleich ergänzt, der die berechnete Permanganatzahl mit einer Zielpermanganatzahl vergleicht und fallweise einen Zeitgeber ansteuert, der die Vorgabezeit für die Recheneinheit, welche die Permanganatzahl berechnet entsprechend abändert, bis die Zielpermanganatzahl gefunden wird. Vorteilhaft wird der Prozeß genau nach der für diese Permanganatzahl zuständigen Prozeßdauer abgestoppt, da dadurch eine hohe Zellstoffqualität erzielt wird. 10 15

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Figuren weiter erläutert.

**Fig. 1** zeigt als Beispiel einen Aufbereitungsprozeß für ein erfindungsgemäßes Verfahren.

**Fig. 2** zeigt als Beispiel den Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens im Betrieb.

**Fig. 3** zeigt als Beispiel eine erfindungsgemäße Anordnung zur Zellstoffkochung.

Wie **Fig. 1** zeigt, besteht eine Aufbereitungsphase für ein erfindungsgemäßes Verfahren beispielsweise im Prozeßschritten **100** bis **600**. In einem Prozeßschritt **100** werden beispielsweise über mehrere Prozeßverläufe Prozeßgrößen, die den Prozeß beeinflussen, gemessen und gespeichert. In einem Prozeßschritt **200** wird dann beispielsweise eine Prozeßgröße PG1 definiert, welche schwer zu bestimmen ist und welche einen wichtigen Indikator für den Prozeß darstellt. In einem Prozeßschritt **300** wird, wie **Fig. 1**, weiter gezeigt beispielsweise die Differentialgleichung bestimmt, welche den Prozeßverlauf beschreibt, bzw. die Abhängigkeit der Prozeßgröße PG1 von weiteren Prozeßgrößen angibt und eine Lösung bekannter Form gesucht. Eine allgemeine Gleichung kann hierbei beispielsweise 20 25

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (1^*)$$

mit

$$x(0) = \alpha \text{ sein}$$

und der bekannten Form

$$f = a_1 x^2 + a_2 x \cdot u \text{ der Lösung}$$

mit den unbekannten Parametern  $a_1$  und  $a_2$ , welche beispielsweise nicht linear von mindestens einer weiteren Prozeßgröße abhängen und der unbekannten Anfangsbedingung  $x(0)=\alpha$ .

Im Anschluß werden in einem Prozeßschritt **400** die Parameter PG2 der Lösung bekannter Form bestimmt, welche in nichtlinearer Weise von weiteren Prozeßgrößen PG2 des Prozesses abhängen. Insbesondere kann hier auch die Anzahl dieser Parameter bestimmt werden. Wie **Fig. 1** weiter zeigt, kann in einem Prozeßschritt **500** falls es Anzeichen dafür gibt, daß sich die Prozeßgrößen PG2 in statische und dynamische Prozeßgrößen aufteilen lassen eine Identifikation dieser statischen und dynamischen Prozeßgrößen durchgeführt werden. In einem abschließenden Schritt werden die neuronalen Netze, welche vorzugsweise der Anzahl der nicht linearen Parameter entsprechend mit den gemessenen Prozeßgrößen aus dem Schritt **100** trainiert, wobei die Targetgröße die Parameter der Lösung der Differentialgleichung darstellen. Für den allgemeinen Fall lassen sich die Parameter in allgemeiner Form wie folgt darstellen: 40 45

$$a_1 = g_1(u_1, \dots, u_N) \quad (2^*)$$

$$a_2 = g_2(u_2, \dots, u_N)$$

$$x(0) = g_3(u_2, \dots, u_N).$$

Erfindungsgemäß lassen sich diese Parameter, wenn sie nichtlinear von weiteren Prozeßgrößen abhängen, beispielsweise durch separate neuronale Netze modellieren.

Falls sich statische und dynamische Parameter separieren lassen, so ergeben sich beispielsweise: 55

$$(u_1, \dots, u_3) \quad (3^*)$$

als statische und

$$(u_4, \dots, u_{N+1}) \quad (4^*)$$

als dynamische Prozeßgrößen.

Hieraus ergeben sich die Parameter zu:

$$a_i = g_i(u_1, \dots, u_3, u_4(t), \dots, u_{N+1}(t)) \quad (5^*)$$

und die Anfangsbedingungen zu:

für  $t = 0$   $a_i = g_i(u_1, \dots, u_3, u_4(t=0), \dots, u_N(t=0))$  (6\*)  
 für  $t > 0$  gilt  $a_i = a_i(t)$

- 5 Für den Fall der Zellstoffkochung besteht die Differentialgleichung für das Modell der Permanganatzahl darin, daß sie den exponentiellen Abfall der Permanganatzahl während des Prozesses beschreibt. Dieser Zusammenhang ist durch die Gleichungen (1) und (2) gegeben

$$10 \quad \frac{d}{dt} PN(t) = -k \cdot PN(t); PN(t=0) = PN(0) \quad (1)$$

$$15 \quad PN(t) = PN(0) \cdot \exp(-kt) \quad (2)$$

Gleichung (1) und (2) sind dabei von der Form der Arrhenius-Differentialgleichung. Dabei sind die zwei unbekannten Koeffizienten der Gleichung, die maßgeblich für die Anfangsbedingungen und die Zeitkonstante des Systems sind, vor-  
 20 teilhaft durch zwei neuronale Netze zu modellieren. Die Netze werden bevorzugt mit den Daten vergangener Zellstoffkochungen trainiert. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu betonen, daß die Permanganatzahl von 0, also die Anfangsbedingung einen starken numerischen Einfluß hat, während ihre physikalische Bedeutung vernachlässigbar ist. Bevorzugt werden zu Beginn jeder neuen Kochung die beiden unbekannten Koeffizienten des Kochmodells durch das erste neuronale Netz modelliert. Die Eingaben des ersten neuronalen Netzes (Fig. 3 NN1) sind beispielsweise die anfänglichen Prozeßvariablen, sowie die Temperatur, der PH-Wert und die Helligkeit zu Beginn der Kochphase. Damit realisiert  
 25 das erste neuronale Netz das beste dynamische Modell der Permanganatzahl basierend nur auf den Anfangsbedingungen, d. h. basierend auf den Variablen, die sich während des Prozeßablauf nicht ändern. Insbesondere sind für das Training der neuronalen Netze folgende Variablen maßgeblich:

- 1)  $[SO_2\_freies \cdot Kochsäuremenge + SO_2/Holz\_ist] Holz\_atro$
- 30 2) Wassergehalt
- 3) Kochsäure  $\cdot$  Kochsäuremenge/ $Holz\_atro$
- 4) Temperatur (Koch\_Begin)
- 5) PH(Koch\_Begin)
- 6) Helligkeit (Koch\_Begin)
- 35 7) Hydromodul=  $[SO_2/Holz\_ist + Kochsäuremenge + Wassergehalt \cdot Holz\_lutro]/Holz\_atro$
- 8) Temperatur Integral zwischen 100°C Punkt und Koch\_Begin Zeit.

Die Konstanten der bekannten Lösung der Differentialgleichung (2) sind durch Gleichung (3) gegeben:

$$40 \quad PN(0) = K_1^2 K_2^2 k = w^2 W_1^2 \quad (3)$$

Während der Prozeß fortschreitet, setzt beispielsweise das zweite neuronale Netz die Feinabstimmung der vorher bestimmten Koeffizienten um, indem die Dynamik in der Temperatur, dem PH-Wert und der Helligkeit genutzt werden. Die Temperatur und der PH-Wert werden dabei insbesondere als lineare dynamische Prozesse modelliert, welche durch die  
 45 Gleichungen (4) und (5) gegeben sind

$$T = kT \cdot t \quad (4)$$

$$PH = k_{PH} \cdot t \quad (5).$$

- 50 Die Helligkeit wird dabei bevorzugt durch eine exponentielle Funktion der Zeit modelliert, welche durch Gleichung (6) gegeben ist

$$Hell = k_{1Hell} e^{-k_{2Hell} \cdot t} \quad (6)$$

55 Die Koeffizienten dieser Modelle werden beispielsweise Online während des Prozesses gemessen, d. h. sobald eine neue Messung verfügbar wird, berechnet. Diese Koeffizienten sind beispielsweise die Eingaben des zweiten neuronalen Netzes (Fig. 3 NN2). Bevorzugt kann mit diesen Koeffizienten bzw. Zeitcharakteristika das zweite neuronale Netz (Fig. 3 NN2) das gesamte Permanganatzahlmodell während des Prozesses, und insbesondere dann wenn neue Messungen vorliegen, aktualisieren. Ein Vorteil dieser Anpassung besteht darin, daß sie von den Modellkoeffizienten, d. h. von den Zeit-  
 60 charakteristika der dynamischen Parameter abhängt und nicht explizit von den Parametern selbst. Für den Fall einer linearen Veränderung der Temperatur bedeutet dies, daß der zugehörige Eingang des zweiten neuronalen Netzes (Fig. 3, NN2), dem hier beispielsweise der Anstieg der Temperatur zugeordnet ist, konstant bleiben wird, obwohl sich die aktuelle Temperatur kontinuierlich ändert. Durch diese Vorgehensweise konvergieren die Eingaben des zweiten Netzes gegen  
 65 konstante Werte und das Gesamtmodell gegen das optimale Modell der Permanganatzahl. Solch ein Modell der Permanganatzahl kann insbesondere dazu benutzt werden um die benötigte Prozeßdauer unter festen Prozeßbedingungen zu bestimmen, oder um durch Simulation zu ermitteln wie die Prozeßantwort auf beliebige Veränderungen der Variablen des Regelungsprozesses, wie beispielsweise der Temperatur und der chemischen Konzentrationen aussieht. Obwohl hier auf

das spezielle Ausführungsbeispiel der Zellstoffkochung Bezug genommen wurde, kann sich der Fachmann leicht andere Prozesse vorstellen, für den die erfindungsgemäße Vorgehensweise vorteilhaft anwendbar ist und gemäß den angegebenen Regeln für den Aufbereitungsprozeß auch andere Prozesse so gestalten, daß er neuronale Netze für die Modellierung von Koeffizienten für Differentialgleichungen heranziehen kann.

Wie Fig. 2 zeigt, besteht ein Verfahren zur Steuerung eines Prozesses für die Zellstoffkochung beispielsweise aus Verfahrensschritten 1000 bis 5000. In einem Schritt 1000 werden die Prozeßgrößen gemessen, bzw. bestimmt und aufbereitet. In einem weiteren Verfahrensschritt 2000 werden die neuronalen Netze (Fig. 3, NN1, NN2) mit diesen gemessenen bzw. aufbereiteten Größen versorgt und es wird die Permanganatzahl anhand der durch die neuronalen Netze bestimmten, von den Prozeßgrößen nicht linear abhängigen Parameter der Lösungsgleichung, in Verfahrensschritt 3000 berechnet. Hierzu wird dem Verfahrensschritt 3000 eine Zeit als Prozeßdauer vorgegeben, nach der diese Permanganatzahl erreicht werden soll. In einem weiteren Verfahrensschritt 4000 wird die modellierte Permanganatzahl mit einer Zielpermanganatzahl verglichen, und abhängig davon ob diese Zielpermanganatzahl hinreichend genau durch die ermittelte Permanganatzahl erreicht wird, wird entweder der Prozeß nach der im Verfahrensschritt 3000 zugeführten Zeit angehalten. Falls die Zielpermanganatzahl nicht genau genug modelliert wurde, d. h. die zur Verfügung gestellte Prozeßzeit im Verfahrensschritt 3000 nicht richtig war, so wird in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis aus dem Verfahrensschritt 4000 eine Deltazeit vorgegeben und zur Vorgabezeit im Verfahrensschritt 3000 in einer Summationsstelle 3500 auf addiert und erneut eine Permanganatzahl im Verfahrensschritt 3000 modelliert. Dieser Schritt wird bevorzugt solange durchgeführt, bis die Prozeßdauer hinreichend genau ermittelt wurde, d. h. die Permanganatzahl, die durch den Verfahrensschritt 3000 bestimmt wurde, hinreichend genau mit der Zielpermanganatzahl, die die gewünschte Qualität des Zellstoffes repräsentiert, übereinstimmt. Die so ermittelte Prozeßdauer wird in einem Prozeßschritt 5000 verwendet, um den Prozeß nach dieser Dauer anzuhalten.

Wie Fig. 3 zeigt, besteht ein Beispiel für eine erfindungsgemäße Anordnung zur Steuerung eines Zellstoffkochprozesses aus zwei neuronalen Netzen NN1 und NN2 und Rechenmitteln RM1 und RM2. Weiterhin sind Meßmittel MM1, Vergleichsmittel VGL und Zeitvorgabemittel TIM, sowie Prozeßsteuermittel PSM vorgesehen. Da sich bei der Zellstoffkochung statische und dynamische Parameter gut voneinander trennen lassen, werden dem neuronalen Netz im wesentlichen die statischen Parameter I1 bis I8 über Leitungen 110 bis 180 zugeführt. Bei diesen Größen handelt es sich bevorzugt um die maßgeblichen Kenngrößen für den Zellstoffkochprozeß, die zuvor bei Fig. 1 beschrieben wurden. Das neuronale NN1 zeugt daraus Konstanten  $K_1$  und  $w$ , welche über Leitungen 185 und 190 dem Rechenmittel RM1 zugeführt werden. Weiterhin sind in Fig. 3 Meßmittel MM1 dargestellt, welche am Prozeß dynamisch veränderliche Parameter ermitteln und diese den Rechenmitteln RM2 über eine Leitung 240 zur Verfügung stellen. Die Rechenmittel RM2 erzeugen über eine Bewertung dieser Meßwerte Zeitcharakteristika dieser dynamischen Prozeßparameter, welche über Leitungen 210 bis 230 als  $T_{rate}$ ,  $PH_{rate}$  und  $Hellig_{ex}$  dem neuronalen Netz NN2 zur Verfügung gestellt werden. Die Messung dieser Prozeßparameter durch die Meßmittel MM1 erfolgt dabei bevorzugt in regelmäßigen Abständen am Prozeß. Das neuronale Netz NN2 erzeugt die Konstanten  $K_2$  und  $w_1$  der Lösung der Differentialgleichung mit der die Permanganatzahl modelliert wird und stellt diese über Leitungen 250 und 260 den Rechenmitteln RM1 zur Verfügung. Als weitere Eingangsgröße erhält das Rechenmittel RM1 von dem Zeitvorgabemittel TIM über eine Leitung 410 eine Vorgabezeit für die Prozeßdauer zur Verfügung gestellt, nach der diese Permanganatzahl zu bestimmen ist. In den Rechenmitteln RM1 wird bevorzugt die Gleichung (2) ausgeführt und eine Permanganatzahl PN über eine Leitung 310 an die Vergleichsmittel VGL abgegeben. Diese Vergleichsmittel vergleichen die Zielpermanganatzahl ZPN, welche die Qualität des Zellstoffkochprozesses repräsentiert und welche sie über eine Leitung 320 erhalten, mit der aktuell nach dieser von den Zeitvorgabemitteln vorgegebenen Prozeßdauer ermittelten Permanganatzahl PN und legen fallweise fest, ob die Zeitvorgabemittel eine neue Zeit vorgeben müssen, oder ob die Permanganatzahl hinreichend genau mit der Zielpermanganatzahl ZPN übereinstimmt. Vorzugsweise kann eine Schranke für die Zielpermanganatzahl ZPN festgelegt sein, innerhalb der die Bedingung für das Qualitätserfordernis der Zellstoffkochung erfüllt ist. Falls die Qualität stimmt, so wird die so ermittelte Prozeßdauer an die Prozeßsteuermittel PSM über Leitung 520 weitergegeben und der Prozeß wird von dem Prozeßsteuermittel PSM bevorzugt mittels eines Signales PST nach der so bestimmten Prozeßdauer angehalten. Falls dies nicht der Fall ist, wird in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis der Zeitgeber TIM über die Leitung 510 angesteuert und es wird entweder die Prozeßdauer erhöht oder erniedrigt und erneut eine Permanganatzahl bestimmt. Diese Verfahrensweise kann solange durchgeführt werden, bis die Prozeßdauer, welche zur gewünschten Qualität des Zellstoffes führt, hinreichend genau bestimmt wurde. Insbesondere können die neuronalen Netze NN1, NN2 nach jedem Zellstoffkochvorgang an die aktuellen Prozeßparameter angepaßt werden, d. h. sie können nachtrainiert werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur neuronalen Modellierung einer ersten Prozeßgröße mit folgenden Merkmalen:
  - a) Die Zeitabhängigkeit der ersten Prozeßgröße (PN) ist durch eine parameterabhängige Differentialgleichung von bekannter Lösungsform gegeben, wobei mindestens einer der Lösungsparameter nicht linear von mindestens einer zweiten Prozeßgröße abhängt;
  - b) die oder jede nicht lineare Funktion welche die Abhängigkeit des oder der Lösungsparameter von der oder jeder zweiten Prozeßgröße angibt, wird mittels je eines neuronalen Netzes (NN1, NN2) modelliert, welches mit meßbaren Prozeßgrößen (I1, ..., I8) trainiert wurde.
2. Verfahren nach Anspruch 1 mit folgenden Merkmalen:
  - a) Es werden zweite Prozeßgrößen zur Festlegung der Anfangsbedingungen des Prozesses identifiziert;
  - b) es werden zeitlich veränderliche zweite Prozeßgrößen (T, PH, Hellig) identifiziert;
  - c) eines der neuronalen Netze (NN2) wird mit Daten über die zeitliche Veränderlichkeit ( $T_{rate}$ ,  $PH_{rate}$ ,  $Hellig_{ex}$ ) der unter b) identifizierten zweiten Prozeßgrößen versorgt, um die Prozeßdynamik bei der Modellierung der ersten Prozeßgröße (PN) zu modellieren.
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Daten über die zeitliche Veränderlichkeit der unter Anspruch 2b identifizierten

fizierten Prozeßgrößen bestimmt werden, indem diese Prozeßgrößen (T, PH, Hellig) am Prozeß zeitabhängig gemessen werden und ihre zeitliche Veränderlichkeit bestimmt (RM2) wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem als erste Prozeßgröße die Permanganatzahl (PN) bei der Zellstoffkochung modelliert wird und als zweite Prozeßgröße mindestens eine der folgenden Größen Verwendung findet:

- $[SO_2 \text{ freies} \cdot \text{Kochsäuremenge} + SO_2 / \text{Holz ist}] \text{ Holz atro}$
- Wassergehalt
- $\text{Kochsäure} \cdot \text{Kochsäuremenge} / \text{Holz atro}$
- Temperatur (Koch\_Begin)
- PH (Koch\_Begin)
- Helligkeit (Koch\_Begin)
- $\text{Hydromodul} = [SO_2 / \text{Holz ist} + \text{Kochsäuremenge} + \text{Wassergehalt} \cdot \text{Holz lutro}] / \text{Holz atro}$
- Temperatur Integral zwischen 100°C Punkt und Koch\_Begin
- Zeit.

5. Verfahren nach Anspruch 4 in Kombination mit Anspruch 2 oder 3, bei dem als dynamische Prozeßgröße mindestens die Temperatur, der PH-Wert, oder die Helligkeit des Zellstoffes Verwendung finden.

6. Verfahren zur Prozeßsteuerung,

- a) bei dem die erste Prozeßgröße (PN) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 modelliert wird,
- b) bei dem eine bestimmte durch den Prozeß zu erreichende erste Zielprozeßgröße (ZPN) vorgegeben wird,
- c) und bei dem ein Prozeßende, an dem diese erste Zielprozeßgröße (ZPN) erreicht sein wird, bestimmt wird, indem während des Prozesses probeweise anhand des Modells der ersten Prozeßgröße, mit einer Probezeit als Prozeßdauer, die erste Prozeßgröße bestimmt wird, wobei diese erste Prozeßgröße (PN) mit der ersten Zielprozeßgröße (ZPN) in Form eines Vergleichsergebnisses verglichen wird und die Probezeit solange in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis verändert wird, bis die erste Zielprozeßgröße (ZPN) mit einer vorgegebenen Genauigkeit errechnet wird, wobei dann die aktuell verwendete Probezeit als Prozeßende zur Steuerung des Prozesses dient.

7. Anordnung zur Modellierung der Permanganatzahl eines Zellstoffkochprozesses in Abhängigkeit von der Prozeßdauer,

- a) bei der ein erstes neuronales Netz (NN1) zur Bestimmung von ersten Konstanten ( $K_1, w$ ) für Anfangsbedingungen des Prozesses aus mindestens statischen Prozeßgrößen ( $I_1, \dots, I_8$ ) vorgesehen ist,
- b) bei der ein zweites neuronales Netz (NN2) zur Bestimmung von zweiten Konstanten ( $K_2, w_1$ ) aus dynamikcharakterisierenden Werten von zeitabhängigen Prozeßgrößen (PH, T, Hellig) vorgesehen ist,
- c) und bei der eine erste Recheneinheit (RM1) vorgesehen ist, welcher die ersten und zweiten Konstanten zugeführt werden und die mindestens in Abhängigkeit von einer Gleichung für die Permanganatzahl (PN) und der ersten und der zweiten Konstanten ( $K_1, w, K_2, w_1$ ), sowie einer Vorgabezeit (Z), welche ihr zugeführt wird, die sich ergebende Permanganatzahl (PN) berechnet.

8. Anordnung nach Anspruch 7,

- a) bei der mindestens ein erstes Mittel (MM1) vorgesehen ist zur Messung einer dynamisch veränderlichen Kenngröße (T, PH, Hellig) des Zellstoffkochprozesses, welches periodisch mißt und ein Meßsignal (M1) abgibt,
- b) bei der mindestens zweite Rechenmittel (RM2) vorgesehen sind zur Erzeugung eines ersten Dynamikcharakteristiksignals ( $T_{rate}, PH_{rate}, Hellig_{ex}$ ), aus dem ersten Meßsignal ( $u_1$ ) mittels einer Zeitbewertungsfunktion für das erste Meßsignal ( $u_1$ ),
- c) und bei der das so erzeugte Dynamikcharakteristiksignal ( $T_{rate}, PH_{rate}, Hellig_{ex}$ ) dem zweiten neuronalen Netz (NN2) zugeführt wird.

9. Anordnung zur Prozeßsteuerung eines Zellstoffkochprozesses über die zeitabhängige Modellierung seiner Permanganatzahl,

- a) bei der die Mittel zur Modellierung der Permanganatzahl nach Anspruch 7 oder 8 vorgesehen sind,
- b) bei der Vergleichsmittel (VGL) zum Vergleich der ihm vom ersten Rechenmittel zugeführten Permanganatzahl (PN) mit einer Zielpermanganatzahl (PN) zur Bildung eines Vergleichsergebnisses vorgesehen sind, bei der Zeitvorgabemittel (TIM) vorgesehen sind, welche eine Probezeit (Z) erzeugen, die den ersten Rechenmitteln zur Bildung der Permanganatzahl zugeführt wird, bei der die Zeitvorgabemittel und die Vergleichsmittel miteinander verbunden sind und diese in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis eine größere oder kleinere Vorgabezeit erzeugen, und bei der
- c) Prozeßsteuermittel (PSM) vorgesehen sind, welche mit dem Vergleichsmittel (VGL) verbunden sind, die falls das Vergleichsergebnis vorgegebener Genauigkeit eintritt, die zu diesem Vergleichsergebnis gehörende Vorgabezeit erhalten und nach Ablauf dieser Vorgabezeit (Z) als Prozeßdauer ein Signal (PST) abgeben.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

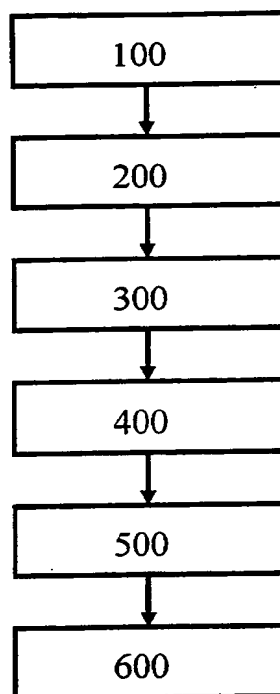


FIG 2

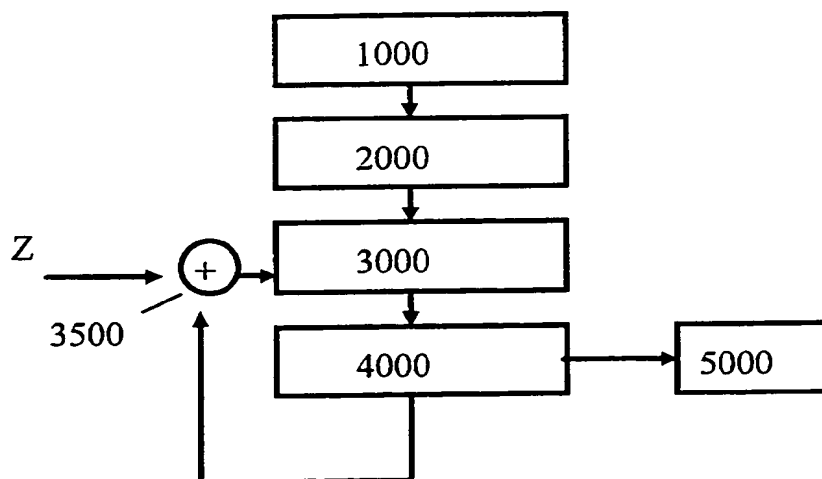


Fig 3

